

## **Проектування, технологія та експлуатація радіоелектронної техніки. Ультразвукова техніка**

### **ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗТАШУВАННЯ ЧАРУНОК У БЛОЦІ ЗІ ЩІЛЬНОЮ КОМПОНОВКОЮ**

***Нікітчук А. В., асистент; Уваров Б. М., д.т.н., професор  
КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна***

Сумарна дія зовнішніх та внутрішніх теплових факторів може призвести до неприпустимого підвищення температур окремих елементів електронної структури (ЕЕС), та їх подальшого виходу з ладу, а у більшості таких випадків – до відмови всього радіоелектронного апарату (РЕА). Температури ЕЕС напряму пов'язані з надійністю останніх, тобто й з надійністю всього РЕА. Методи автоматизованого розміщення тепловиділяючих функціональних вузлів та електрорадіоелементів на друкованій платі радіоелектронного апарату забезпечують оптимальність теплового режиму і підвищення надійності. Всі ці обставини призводять до необхідності використовувати об'єктно-орієнтовані програмні модулі САПР. Створене програмне забезпечення [1] дає змогу провести відповідні розрахунки для оптимізації розташування ЕЕС на платі та визначення надійності чарунки. Подальшим кроком у підвищенні надійності РЕА є оптимізація положення друкованих плат у блоці радіоелектронного апарату.

Тепловий режим в блоці можна оптимізувати, раціонально розташовуючи чарунки відносно одна одної. Тепловиділення в чарунках неоднакові, а залежать від теплової потужності встановлених на них ЕЕС. Тому можливо так розмістити чарунки, щоб температури найбільш навантажених ЕЕС в них були мінімальними. Кожну чарунку можна представити як паралелепіпед з розмірами  $a \times l \times h$  (ширина, глибина, висота), що розміщений у корпусі блока з розмірами  $A \times L \times H$ . Тепловиділення у її об'ємі – це сума тепловиділень ЕЕС. У внутрішньому об'ємі корпусу знаходиться повітря, завдяки циркуляції якого ЕЕС у чарунках охолоджуються, а внаслідок цього це повітря нагрівається. Внутрішні поверхні стінок корпусу сприймають теплоту від повітря конвекцією, а від поверхонь ЕЕС – радіацією. Теплота від зовнішніх поверхонь корпусу віддається оточуючому середовищу конвекцією та радіацією.

Структурна модель теплових потоків у корпусі блока з чарунками подана на рисунку 1. Усереднені температури чарунок –  $T_i$ ,  $\sigma_{km}$  – теплові провідності, що є аналогами комплексів  $\alpha_i S_i$  у рівнянні для конвективного теплообміну [2]:

$$Q_i = \alpha_i S_i (T_i - T_v),$$

де  $\alpha_i$  – критерій тепловіддачі від поверхонь ЕЕС до теплоносія;  $S_i$  – площа тепловіддаючої поверхні;  $T_v$  – температура теплоносія, до якого відводиться теплота від чарунок.

Для радіаційного теплообміну, згідно з законом Стефана – Больцмана,

рівняння, що визначає кількість теплоти, якою обмінюються дві поверхні з температурами  $T_i$ ,  $T_j$ :

$$Q_{ij} = (c_{ij} S_{ij})_r (T_i^4 - T_j^4),$$

де  $c_{ij} = \frac{c_0}{1/\varepsilon_i + 1/\varepsilon_j - 1}$  – критерій взаємного радіаційного теплообміну між поверхнями з номерами  $i$  та  $j$ ;  $c_0 = 5,67 \cdot 10^{-8}$  Вт/м<sup>2</sup>К<sup>4</sup> – константа Стефана – Больцмана;  $\varepsilon_i$ ,  $\varepsilon_j$  – степені чорноти поверхонь;  $S_{ij}$  – еквівалентна поверхня радіаційного теплообміну.

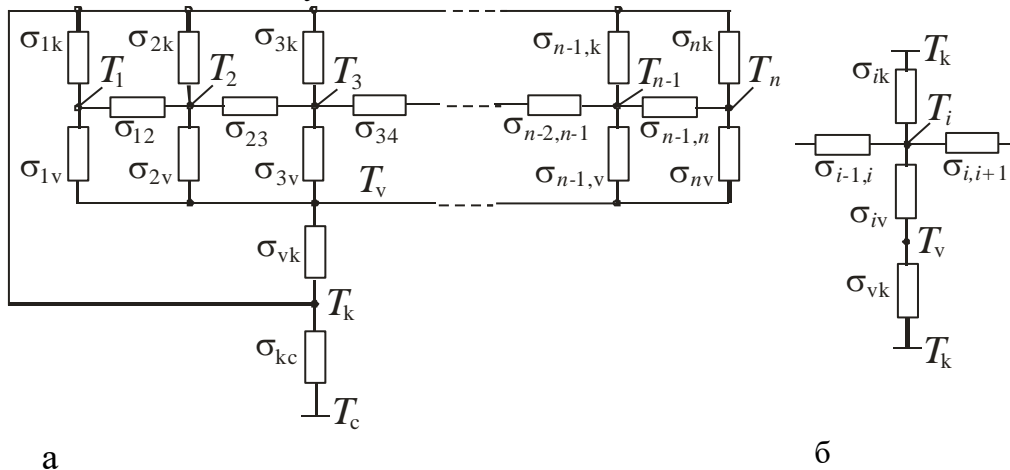


Рисунок 1. Теплові потоки у корпусі блока: а – теплові потоки від чарунок до повітря та стінок корпусу; б – теплові зв'язки окремої чарунки з іншими, повітрям та стінками корпусу

Згідно зі схемою рисунка 1а теплота від всіх чарунок відводиться до стінок корпусу, а потім віддається до оточуючого середовища. Для чарунки, що знаходиться між іншими, схема теплових потоків наведена на рисунку 1б. Дві крайні чарунки з температурами  $T_1$  та  $T_n$  мають кожна один радіаційний зв'язок із сусідньою чарункою та ще радіаційний зв'язок зі стінкою корпусу. Система рівнянь математичної моделі теплових потоків:

$$\left. \begin{aligned} &(\alpha_1 S_1)_k (T_1 - T_v) + (c_{1k} S_{1k})_r (T_1^4 - T_k^4) + (c_{12} S_{12})_r (T_1^4 - T_2^4) - Q_1 = 0; \\ &\dots \\ &(\alpha_i S_i)_k (T_i - T_v) + (c_{ik} S_{ik})_r (T_i^4 - T_k^4) + (c_{i,i-1} S_{i,i-1})_r (T_i^4 - T_{i-1}^4) + \\ &\quad + (c_{i,i+1} S_{i,i+1})_r (T_i^4 - T_{i+1}^4) - Q_i = 0; \\ &\dots \\ &(\alpha_n S_n)_k (T_n - T_v) + (c_{nk} S_{nk})_r (T_n^4 - T_k^4) + (c_{n,n-1} S_{n,n-1})_r (T_n^4 - T_{n-1}^4) - Q_n = 0; \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де  $(\alpha_i S_i)_k = \sigma_{iv}$  – конвективна провідність від чарунки до повітря всередині корпусу з температурою  $T_v$ ;  $(c_{ik} S_{ik})_r = \sigma_{ik}$  – радіаційна провідність від чарунки

до стінки корпусу з температурою  $T_k$ ;  $(c_{i,i-1}S_{i,i-1})_r = \sigma_{i,i-1}$  – радіаційна провідність від чарунки до сусідньої з номером  $i - 1$  та температурою  $T_{i-1}$ ;  $(c_{i,i+1}S_{i,i+1})_r = \sigma_{i,i+1}$  – радіаційна провідність від чарунки до сусідньої з номером  $i + 1$  та температурою  $T_{i+1}$ ;  $Q_i$  – тепловиділення чарунки з номером  $i$ .

Значення критеріїв  $\alpha_i$  конвективного теплообміну у зазорах між чарунками чи між чарункою та стінкою корпусу знаходять в залежності від того, який процес конвекції – природний чи вимушений [2]. Для розв’язання системи (1), тобто знаходження значень усереднених температур чарунок  $T_i$ , використовують різні методи – прості ітерації, Ньютона, збурення параметрів. При великій кількості чарунок в корпусі блоку раціонального їх розміщення домогтися складно, оскільки це число для субблоків, спроектованих, наприклад, відповідно до стандарту МЕК 20697, може досягати 21. Число неповторюваних варіантів  $P_k$  розміщення  $k$  чарунок в блоці дорівнює числу перестановок:  $P_k = k!$ , тому навіть для невеликого числа чарунок кількість варіантів їх розміщення досить велика (для п’яти чарунок  $P_k = 5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 = 120$ ). Тому був розроблений модуль у програмі *ReliaREA* для розміщення чарунок в блоці, що забезпечує мінімум температур ЕЕС в чарунках і максимальну надійність всього електронного апарата.

#### **Перелік посилань**

1. Optimization of Arrangement Heat-Producing Functional Units and Radio Elements on the Printed Circuit Board / A. V. Nikitchuk, B. M. Uvarov // Electronics and control systems. - 2016. - № 1. - С. 54-59.
2. Исаченко В.П., Осипова В.А, Сукомел А.С. Теплопередача. Учебник для вузов, изд. 3-е, перераб. и доп. – М., Энергия, 1975. – 488 с.

#### **Анотація**

Розглянуто фактори які впливають на надійність радіоелектронних чарунок у блоці зі щільною компоновкою. Наведено параметри блоку, які необхідно враховувати при розрахунках теплових потоків. Обґрунтовано необхідність створення та використання програмних модулів для оптимізації надійності радіоелектронних блоків.

**Ключові слова:** теплообмін, надійність, блок, РЕА.

#### **Аннотация**

Рассмотрены факторы, которые влияют на надежность радиоэлектронных ячеек в блоке с плотной компоновкой. Приведены параметры блока, которые необходимо учитывать при расчетах тепловых потоков. Обоснована необходимость создания и использования программных модулей для оптимизации надежности радиоэлектронных блоков.

**Ключевые слова:** теплообмен, надежность, блок, РЕА.

#### **Abstract**

The factors that affect the reliability of electronic cells in a block with a dense layout are considered. The parameters of the block, which must be taken into account in the calculation of heat flux are considered. Necessity of creation and use of program modules for optimization of reliability of radio-electronic blocks is proved.

**Keywords:** heat transfer, reliability, block, REA